Proceedings of 5º Encuentro de Potencia, Instrumentación y Medidas, IEEE, October 19-20, 1999, Montevideo, Uruguay

Transferencia de Potencia a través de un Cuadripolo
5º Encuentro de Potencia, Instrumentación y Medidas

Isi Haim
Departamento de Potencia
Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería, UDELAR
Montevideo, Uruguay

Mario Vignolo, Member IEEE
Departamento de Potencia
Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería, UDELAR
Montevideo, Uruguay

Abstract— Todo sistema eléctrico de potencia puede considerarse como formado por un conjunto de cuadripolos, que son los elementos básicos del sistema: en efecto, un transformador, una línea, un cable, una impedancia cualquiera, una carga pasiva, etc., pueden todos representarse mediante un cuadripolo pasivo y por lo tanto el cálculo de la red requiere el conocimiento general del funcionamiento del cuadripolo y de sus algoritmos de cálculo. La red es en definitiva una combinación de cuadripolos.
El objetivo de este trabajo es el de presentar un método general de cálculo para la transferencia de potencia a través de un cuadripolo. Este método permite calcular, a partir de 3 datos eléctricos, todas las demás magnitudes que intervienen en dicha transferencia.
Para la realización de ese objetivo, se presenta en este trabajo un programa de cálculo que hemos denominado "RESCUAD" y que se basa en el método de Newton - Raphson para la resolución de ecuaciones no lineales.

Keywords— Cuadripolo, régimen alterno sinusoidal, transferencia de potencia, método de Newton-Raphson.

I. INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que en un sistema eléctrico de potencia funcionando en régimen alterno sinusoidal, el modelo básico que aparece en toda porción pasiva del circuito representada por fase es el llamado "cuadripolo", que tiene 2 bornes de entrada y 2 de salida:

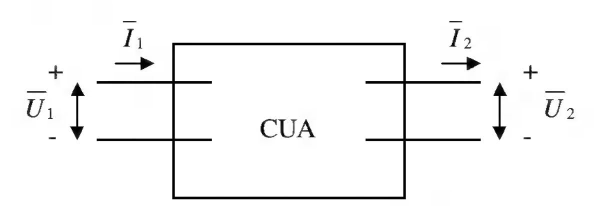


Fig. 1: Representación del cuadripolo.

Las convenciones usuales para las tensiones $\bar{U}_1$ y $\bar{U}_2$ de entrada y salida respectivamente, así como para las corrientes $\bar{I}_1$ e $\bar{I}_2$ son las indicadas en la figura.

En todo este trabajo, las magnitudes señaladas con letras suprarayadas son fasores complejos o números complejos; para una magnitud cualquiera, si le suprimimos la raya superior, estaremos indicando el módulo de esa magnitud o de ese complejo; así por ejemplo:

$$\bar{V} \quad \text{fasor complejo;} \quad V = \text{mód}(\bar{V}) = |\bar{V}|$$

Para el cuadripolo CUA representado en la figura, el borne asociado al signo + será la fase, mientras que el asociado al - será el neutro del sistema. Las tensiones que hemos indicado son entonces tensiones "estrelladas", o sea tensiones de fase respecto al neutro, y las corrientes serán corrientes de línea.

Todo elemento pasivo en un circuito, sea una impedancia, sea una línea, sea una combinación de impedancias, puede reducirse a un cuadripolo. También cuadripolos en paralelo (caso de líneas en paralelo) o en cascada pueden reemplazarse por un único cuadripolo equivalente, empleando las conocidas fórmulas de álgebra de cuadripolos deducidas de operaciones matriciales.

Las representaciones más usuales del cuadripolo de potencia en la teoría de los sistemas eléctricos de potencia son el modelo en "Π" y el modelo en "T", o también más frecuentemente el modelo de matriz cuadrada de constantes generales:

$$\begin{bmatrix} \overline{A} & \overline{B} \\ \overline{C} & \overline{D} \end{bmatrix} ,$$

siendo también conocidas las fórmulas de pasaje de un modelo a otro.

En este trabajo , nuestro cuadripolo CUA estará dado por su matriz de constantes generales:

$\overline{A} = Ae^{j\alpha}$ (adimensionada)

$\overline{B} = Be^{j\beta}$ (Ω)

$\overline{C} = Ce^{j\gamma}$ (Ω^{-1})

$\overline{D} = De^{j\delta}$ (adimensionada)

En el cuadripolo pasivo de potencia, estas constantes no son independientes pues están ligadas por la relación $\overline{A}\overline{D} - \overline{B}\overline{C} = 1$, como lo muestra la Teoría de Circuitos. Será entonces suficiente conocer 3 de esas constantes para que el cuadripolo esté determinado. Más aún, si el cuadripolo es simétrico (por ejemplo el caso de una línea de transmisión) se tiene $\overline{D} = \overline{A}$, de modo que en ese caso alcanzará el conocimiento de 2 de esas constantes.

Las constantes generales del cuadripolo intervienen en el problema eléctrico de acuerdo a la ecuación matricial:

$$\begin{bmatrix} \overline{U}_1 \\ \overline{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{A} & \overline{B} \\ \overline{C} & \overline{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{U}_2 \\ \overline{I}_2 \end{bmatrix} ,$$

o sea:

$$\begin{cases} \overline{U}_1 = \overline{A}\overline{U}_2 + \overline{B}\overline{I}_2 \\ \overline{I}_1 = \overline{C}\overline{U}_2 + \overline{D}\overline{I}_2 \end{cases}$$

Observemos que estas 2 ecuaciones en complejos equivalen a 4 ecuaciones con magnitudes escalares, en las que intervienen 8 variables (módulos y argumentos de 2 tensiones y 2 corrientes). Pero haciendo notar que el origen de fases puede ser libremente elegido, podemos fijar en cero uno cualquiera de los argumentos y por lo tanto quedan sólo 7 variables.

4 ecuaciones con 7 variables nos dejan 3 grados de libertad. Para que un problema de transferencia de carga a través de un cuadripolo esté determinado, será necesario y suficiente conocer 3 magnitudes eléctricas escalares, que constituirán siempre el punto de partida del problema.

II. PLANTEO GENERAL

Trabajaremos con las magnitudes usuales en los cálculos de sistemas eléctricos de potencia, o sea:

- tensión
- potencia activa
- potencia reactiva
- factor de potencia

Teniendo en cuenta los dos lados del cuadripolo, tenemos pues 8 magnitudes en juego, para las cuales tomaremos las siguientes convenciones de sentido:

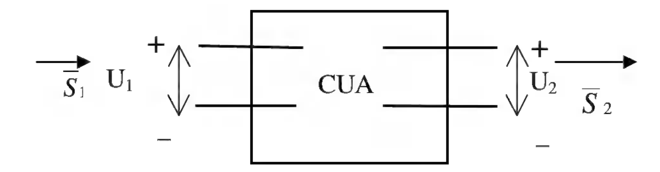


Fig. 2: Convenciones de sentido en las potencias y tensiones del cuadripolo.

Las potencias aparentes se han tomado entrante para la entrada y saliente para la salida; esas potencias aparentes son:

$$\begin{cases} \overline{S}_1 = P_1 + jQ_1 \\ \overline{S}_2 = P_2 + jQ_2 \end{cases}$$

Los factores de potencia a la entrada y a la salida se evalúan a través de los argumentos de esas potencias aparentes, o sea:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \arg(\overline{S}_1) \\ \varphi_2 = \arg(\overline{S}_2) \end{cases}$$

Las 8 magnitudes que intervendrán en nuestro problema son pues: U_1, P_1, Q_1, φ_1, U_2, P_2, Q_2, φ_2 . En muchos problemas de transferencia de potencia, resulta útil conocer también el ángulo entre las tensiones terminales $\overline{U_1}$ y $\overline{U}_2$, por lo cual pondremos en juego también el adelanto θ de $\overline{U_1}$ respecto a $\overline{U}_2$, quedándonos en definitiva un juego de 9 magnitudes escalares: U_1, P_1, Q_1, φ_1, U_2, P_2, Q_2, φ_2 , θ.

Dado que trabajamos por fase, las potencias P y Q que consideramos deben tomarse también por fase (o sea la tercera parte de las potencias trifásicas que intervienen).

Vistos los 3 grados de libertad señalados anteriormente, tendremos que escribir 6 ecuaciones que relacionan a esas 9 variables.

III. PLANTEO DE LAS ECUACIONES

A. *Introducción*

Dejando de lado moméntaneamente el ángulo θ, tendremos que escribir 5 ecuaciones, o sea 2 ecuaciones en complejos más la condición mencionada de origen de fases en una tensión o una corriente.

Tomando por ejemplo $\overline{U}_1$ como origen de fases $\overline{U}_1 = U_1$, las dos ecuaciones serán:

$$\begin{cases} \overline{U}_2 = f_1(U_1, \overline{S}_1) & (1) \\ \overline{S}_2 = f_2(U_1, \overline{S}_1) & (2) \end{cases}$$

ya que resulta lógico pensar en calcular la condición eléctrica de salida en función de la condición eléctrica de entrada.

B. *Obtención de la ecuación (1)*

La inversión de la ecuación matricial básica nos da:

$$\begin{bmatrix} \overline{U}_2 \\ \overline{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{D} & -\overline{B} \\ -\overline{C} & \overline{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{U}_1 \\ \overline{I}_1 \end{bmatrix} ,$$

habiendo tenido en cuenta que $\overline{AD} - \overline{BC} = 1$.

Tenemos pues:

$$\overline{U}_2 = \overline{D}U_1 - \overline{BI_1}$$

Reemplazando $\overline{I}_1 = \frac{\hat{S}_1}{U_1}$ (el símbolo "^" significa conjugación):

$$\overline{U}_2 = \overline{D}U_1 - \overline{B}\frac{\hat{S}_1}{U_1} \qquad (1)$$

C. *Obtención de la ecuación (2)*

Tenemos:

$$\overline{S}_2 = \overline{U}_2 \hat{I}_2$$

Siendo $\overline{I}_2 = -\overline{C}U_1 + \overline{AI_1}$, tendremos

$$\hat{I}_2 = -\hat{C}U_1 + \hat{A}\hat{I}_1 = -\hat{C}U_1 + \hat{A}\frac{\overline{S}_1}{U_1}$$, de donde:

$$\overline{S}_2 = (\overline{D}U_1 - \overline{B}\frac{\hat{S}_1}{U_1})(-\hat{C}U_1 + \hat{A}\frac{\overline{S}_1}{U_1})$$

Operando, se llega fácilmente a:

$$\overline{S}_2 = \hat{A}\overline{D}\overline{S}_1 + \overline{B}\hat{C}\hat{S}_1 - \hat{C}\overline{D}U_1^2 - \frac{\hat{A}\overline{B}}{U_1^2}S_1^2 \qquad (2)$$

D. *Forma escalar de las ecuaciones (1) y (2)*

Igualando los cuadrados de los módulos de ambos miembros de la ecuación (1), se llega a:

$$U_2^2 = D^2U_1^2 + B^2\frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} - 2BD[P_1\cos(\beta-\delta) + Q_1\,\text{sen}(\beta-\delta)] \qquad (1')$$

Igualando componentes reales e imaginarias de ambos miembros de la ecuación (2), se llega a:

$$P_2 = AD[P_1\cos(\alpha-\delta) + Q_1\,\text{sen}(\alpha-\delta)] + BC[P_1\cos(\beta-\gamma) + Q_1\,\text{sen}(\beta-\gamma)] - CDU_1^2\cos(\delta-\gamma) - AB\frac{P_1^2+Q_1^2}{U_1^2}\cos(\beta-\alpha)$$

(2r)

$$Q_2 = AD[P_1\,\text{sen}(\alpha-\delta) + Q_1\cos(\alpha-\delta)] + BC[P_1\,\text{sen}(\beta-\delta) + Q_1\cos(\beta-\delta)] - CDU_1^2\,\text{sen}(\delta-\gamma) - AB\frac{P_1^2+Q_1^2}{U_1^2}\text{sen}(\beta-\alpha)$$

(2i)

E. *Ecuaciones que hacen intervenir φ_1 y φ_2*

Estas son, obviamente:

$$P_1\text{sen}\varphi_1 = Q_1\cos\varphi_1 \qquad (3)$$
$$P_2\text{sen}\varphi_2 = Q_2\cos\varphi_2 \qquad (4)$$

F. *Ecuación para el adelanto θ de $\overline{U_1}$ respecto a $\overline{U_2}$*

Habiendo tomado $\overline{U}_1 = U_1$ como origen de fases, tendremos θ = -arg$\overline{U}_2$. La ecuación (1) puede entonces escribirse:

$$U_2 e^{-j\theta} = De^{j\theta}U_1 - Be^{j\beta}\frac{P_1 - jQ_1}{U_1} \quad ,$$

o sea:

$$U_1 U_2 e^{-j\theta} = DU_1^2 e^{j\delta} - B(P_1 - jQ_1)e^{j\beta}$$

Igualando componentes reales e imaginarias de ambos miembros, se llega fácilmente a:

$$U_1 U_2 \cos\theta = DU_1^2 \cos\delta - B(P_1 \cos\beta + Q_1 \operatorname{sen}\beta) \quad (5)$$
$$U_1 U_2 \operatorname{sen}\theta = -DU_1^2 \operatorname{sen}\delta + B(P_1 \operatorname{sen}\beta - Q_1 \cos\beta) \quad (6)$$

Para determinar θ, usaremos sólo la ecuación (5), que nos da 2 valores opuestos de θ a partir de $\cos\theta$; el valor correcto a introducir en la solución se elige de acuerdo al signo de $\operatorname{sen}\theta$ dado por la ecuación (6).

G. *Conjunto de ecuaciones a resolver*

Hacemos un listado de las ecuaciones halladas, reformulándolas para tener un segundo miembro nulo:

$$U_1^2 U_2^2 - D^2 U_1^4 - B^2(P_1^2 + Q_1^2) + 2BD[P_1 \cos(\beta-\delta) + Q_1 \operatorname{sen}(\beta-\delta)] = 0$$
(ec.1)

$$P_2 - AD[P_1 \cos(\alpha-\delta) + Q_1 \operatorname{sen}(\alpha-\delta)] - BC[P_1 \cos(\beta-\gamma) + Q_1 \operatorname{sen}(\beta-\gamma)] + CDU_1^2 \cos(\delta-\gamma) + AB\frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2}\cos(\beta-\alpha) = 0$$
(ec.2)

$$Q_2 - AD[P_1 \operatorname{sen}(\alpha-\delta) + Q_1 \cos(\alpha-\delta)] - BC[P_1 \operatorname{sen}(\beta-\delta) + Q_1 \cos(\beta-\delta)] + CDU_1^2 \operatorname{sen}(\delta-\gamma) + AB\frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2}\operatorname{sen}(\beta-\alpha) = 0$$
(ec.3)

$$P_1 \operatorname{sen}\varphi_1 - Q_1 \cos\varphi_1 = 0$$
(ec.4)

$$P_2 \operatorname{sen}\varphi_2 - Q_2 \cos\varphi_2 = 0$$
(ec.5)

$$U_1 U_2 \cos\theta - DU_1^2 \cos\delta - B(P_1 \cos\beta + Q_1 \operatorname{sen}\beta) = 0$$
(ec.6)

Como puede verse, tenemos las 9 variables:

$$U_1,\ P_1,\ Q_1,\ \varphi_1,\ U_2,\ P_2,\ Q_2,\ \varphi_2,\ \theta$$

con 6 ecuaciones, o sea 3 grados de libertad como señalado anteriormente.

El sistema obtenido se resuelve por iteración utilizando el método de Newton-Raphson. Se elige además la determinación correcta de θ verificando que:

$$U_1 U_2 \operatorname{sen}\theta + DU_1^2 \operatorname{sen}\delta - B(P_1 \operatorname{sen}\beta - Q_1 \cos\beta) = 0$$

Notas :

1. El problema planteado se refiere a un sistema trifásico equilibrado, en que los 2 polos del cuadripolo en cada terminal son una fase y el neutro del sistema. Por lo tanto, las tensiones son tensiones estrelladas y las potencias son potencias por fase. Una simple observación aritmética muestra que pueden utilizarse las mismas fórmulas con tensiones compuestas y potencias totales. El programa propuesto presenta pues la ventaja de poder trabajar directamente con las magnitudes manejadas usualmente en los problemas de sistemas trifásicos equilibrados.
2. La eliminación gaussiana incluida en el método de Newton-Raphson es válida siempre que el sistema de ecuaciones cuya solución da el paso siguiente para la iteración sea determinado: Si el sistema es indeterminado, el programa acusará "error". Un ejemplo trivial en que el sistema sería indeterminado es el caso en que los 3 datos sean los siguientes:

$U_1 \qquad Q_2 = 0 \qquad \varphi_2 = 0$,

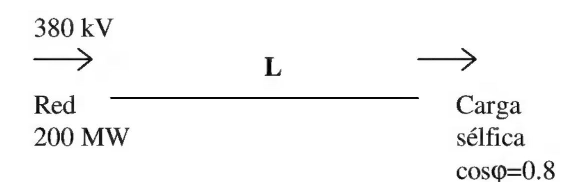
que correspondería a conectar en la salida una resistencia pura R. Es fácil comprender que el sistema en este caso es indeterminado pues el valor de R no aparece en los datos y si el método nos diera una solución, llegaríamos al absurdo de que ¡¡el funcionamiento es independiente de R!! El programa realizado envía un mensaje de error invitando al usuario a cambiar los datos iniciales (ver Apéndice).

IV. PROGRAMA RESCUAD

Este programa resuelve el sistema de ecuaciones por iteración empleando, como ya mencionado, el método de Newton-Raphson.

La entrada y salida de datos se efectúa en forma directa a través de la pantalla del PC. Se optó por esta modalidad en vez del ingreso de datos en un archivo por considerar que la misma permite una mejor interacción del usuario con el programa implementado.

A continuación se muestran las pantallas típicas de entrada y salida para un caso particular:



Una cierta línea trifásica de transmisión L tiene las siguientes constantes generales para su cuadripolo equivalente:

$\overline{A} = 0{,}9271\ e^{j0{,}791^\circ}$.
$\overline{B} = 96{,}23\ e^{j82{,}66^\circ}$ (Ω)

Esa línea está alimentada por una red que le impone una tensión de 380 kV a la entrada y le entrega una potencia de 200 MW; a la salida, la línea alimenta una carga sélfica de cosφ=0,8. Se desea conocer todas las magnitudes eléctricas en la entrada y en la salida de la línea.

Para el programa RESCUAD, tenemos el cuadripolo equivalente a la línea, simétrico y de constantes $\overline{A}, \overline{B}$ conocidas, con los siguientes datos e incógnitas:

Datos : U_1 = 380 kV
P_1 = 200 MW
φ_2 = Arccos0,8 = 36,87º
Incógnitas : Q_1, φ_1, U_2 , P_2 , Q_2 , θ
Mostraremos lo que aparece en pantalla:

P R O G R A M A D E C A L C U L O D E C U A D R I P O L O S I I E
- F a c u l t a d d e I n g e n i e r í a -

INGRESO DE LOS DATOS DEL PROBLEMA

Ingrese la tolerancia deseada: 0.01
Ingrese el número máximo de iteraciones admitidas: 30

C o n s t a n t e s d e l c u a d r i p o l o:

Indique si el cuadripolo es simétrico (S/N) S

Ingrese el valor de A:0.9271
Ingrese el valor de alfa(grados):0.791

Ingrese el valor de B(ohm):96.23
Ingrese el valor de beta(grados):82.66

V a r i a b l e s d e l p r o b l e m a

Puede elegir dos sistemas de unidades:
1) [U]=V, [P]=W, [Q]=VAR
2) [U]=kV, [P]=MW, [Q]=MVAR

U1: Es dato? (S/N) S
Valor: 380

P1: Es dato? (S/N) S
Valor: 200

Q1: Es dato? (S/N) N
Valor: 150

FI1: Es dato? (S/N) N

Valor (en grados): 36.87

U2: Es dato? (S/N) N
Valor: 380

P2: Es dato? (S/N) N
Valor: 200

Q2: Es dato? (S/N)
Valor: 150

FI2: Es dato? (S/N) S
Valor (en grados): 36.87

theta: Es dato? (S/N) N
Valor(en grados): 10

L o s   d a t o s   i n g r e s a d o s   f u e r o n:

Constantes del cuadripolo:

A: 9.2710000000E-01 alfa: 7.9100000000E-01
B: 9.6230000000E+01 beta: 8.2660000000E+01
C: 1.4839298060E-03 gamma: 8.7774671922E+01
D: 9.2710000000E-01 delta: 7.9100000000E-01

Datos y valores iniciales de las incognitas:

U1: 3.8000000000E+02 S
P1: 2.0000000000E+02 S
Q1: 1.5000000000E+02 N
FI1: 3.6870000000E+01 N
U2: 3.8000000000E+02 N
P2: 2.0000000000E+02 N
Q2: 1.5000000000E+02 N
FI2: 3.6870000000E+01 S
theta: 1.0000000000E+01 N

Nota: Si al correr el programa, en alguna de las iteraciones el sistema de ecuaciones resulta incompatible o indeterminado, verifiquesusdatos o modifique ligeramente los valores iniciales de sus incógnitas.

R E S U L T A D O S :

Q1: -4.2105608180E+01
FI1: 3.4811124731E+02
U2: 3.5942007149E+02
P2: 1.8678109527E+02
Q2: 1.4008634281E+02
theta: 7.4706337110E+00
niter: 10
converge: TRUE

Con 10 iteraciones, el programa nos brinda todas las magnitudes eléctricas en el funcionamiento planteado:

Q_1 = -42,11 MVAR
φ_1 = 348,1º (o sea -11,9º)
U_2 = 359,4 kV
P_2 = 186,8 MW
Q_2 = 140,1 MVAR
θ = 7,47º

La red recibe potencia reactiva (la línea es muy capacitiva), las pérdidas en la línea son 200 - 186,8 = 13,2 MW, la caída de tensión en la línea es del

5,42% y el adelanto de $\overline{U}_1$ respecto a $\overline{U}_2$ es de 7,47º.

V. OBSERVACIÓN SOBRE EL INGRESO DE DATOS EN EL PROGRAMA RESCUAD

Para acelerar la convergencia del cálculo, se recomienda tomar como valores iniciales de las incógnitas valores próximos a los de las variables homólogas conocidas: por ejemplo si se conoce P_1 y no se conoce P_2, tomar como valor inicial de P_2 el dato P_1; si no se conocen las 2 variables homólogas Q_1, Q_2, tomar valores compatibles con el orden de magnitud fijado por ejemplo por P_1, φ_1. Debe tenerse en cuenta que en un sistema eléctrico de potencia, el cuadripolo es simplemente un elemento de tránsito de carga y que no modifica substancialmente las variables eléctricas de la entrada, produciendo pues en la salida valores cercanos a los de la entrada, fundamentalmente en lo que se refiere a tensiones y potencias activas. Análogamente, para el ángulo θ conviene comenzar la iteración suponiendo $\overline{U}_1 \, y \overline{U}_2$ en fase, o sea por ejemplo comenzar con $\theta = 0$.
En el ejemplo mostrado se tomó $\theta = 10º$ como valor inicial.

VI. APENDICE – MENSAJE DE ERROR

El programa RESCUAD no conduce a solución alguna cuando se produce una de estas 2 situaciones:

A) Los datos del problema son incompatibles o redundantes.
B) Los valores iniciales elegidos para las incógnitas producen en alguna de las etapas de la iteración un sistema de ecuaciones indeterminado o incompatible (o sea un sistema con determinante principal nulo).
Antes de correr el programa, la pantalla exhibe un mensaje al ususario:

> "Si al correr el programa, en alguna de las iteraciones el sistema de ecuaciones resulta incompatible o indeterminado, verifique sus datos o modifique ligeramente los valores iniciales de las incógnitas"

Luego, al correrlo, si se produce una de las dos situaciones mencionadas, el programa exhibe el mensaje:

> "HORROR! Sistema de ecuaciones incompatible o indeterminado"

Veamos algunos ejemplos triviales en que se producen estas situaciones:

Situación A :

A1) Ejemplos de datos incompatibles

Ejemplo A.1.1
Nos damos los 3 datos P_2, Q_2, φ_2, con $tg\varphi_2 \neq \frac{Q_2}{P_2}$.

Es evidente que este caso conduce a una situación de incompatibilidad.

Ejemplo A.1.2

Para un cuadripolo en que las constantes generales son todas imaginarias puras, o sea que no hay resistencias, no existe pérdida de potencia activa en el cuadripolo. Si entre los 3 datos figuran P_1 y P_2 con $P_1 \neq P_2$, es evidente que la situación resultará incompatible.

A2) Ejemplos de datos redundantes

Ejemplo A.2.1
Nos damos los 3 datos P_2, Q_2, φ_2, con $tg\varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2}$.

Es evidente que uno de los 3 datos es redundante y que el sistema resultará indeterminado pues en realidad sólo hemos impuesto 2 condiciones eléctricas.

Ejemplo A.2.2

En el caso de una resistencia pura R conectada a la salida del cuadripolo, si nos damos por ejemplo U_2, $Q_2 = 0$, $\varphi_2 = 0$, el sistema resultará indeterminado. Es previsible la indeterminación, pues si el programa suministrara una solución, ésta sería independiente de R, lo cual es absurdo. La indeterminación surge del hecho de la redundancia de las informaciones $Q_2 = 0$, $\varphi_2 = 0$. En realidad nos estamos dando sólo 2 informaciones.

Situación B

Ejemplo de mala elección de valores iniciales

Las ecuaciones planteadas muestran que si $\overline{A} = 1$ y $\beta = 90º$, tomar el valor inicial $\theta = 0$ conduce a un sistema indeterminado. Conviene partir de un valor $\theta \neq 0$ para poder llegar a la solución. Observemos que la situación de determinante nulo puede darse en la primera etapa de la iteración o en cualquiera de las etapas siguientes. El mensaje emitido por el programa no especifica en cual de las etapas se produce la anulación del deteminante, pero, de cualquier modo, si los datos del problema son adecuados, debe modificarse el punto de partida de la iteración cambiando (aunque sea ligeramente) los valores iniciales de las incógnitas o de alguna de ellas.

BIOGRAFÍAS



Isi Haim se graduó de Ingeniero Industrial en febrero de 1954 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Desde 1965 es docente del Instituto de Ingeniería Eléctrica, del cual ejerció la dirección durante más de 10 años, en carácter de Profesor Titular. Actualmente es Profesor Agregado del Departamento de Potencia, estando a cargo de la cátedra de Redes Eléctricas.



Mario Vignolo se graduó de Ingeniero Electricista en abril de 1998 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Desde 1992 es docente del Instituto de Ingeniería Eléctrica. Actualmente es Asistente del Departamento de Potencia donde trabaja en las áreas de Redes Eléctricas, Electrotécnica e Iluminación.